

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-209302

(43)Date of publication of application : 25.07.2003

(51)Int.Cl.

H01L 41/09
H01L 41/187
H01L 41/22

(21)Application number : 2002-005913

(71)Applicant : MEGASERA:KK
TAIHEIYO CEMENT CORP

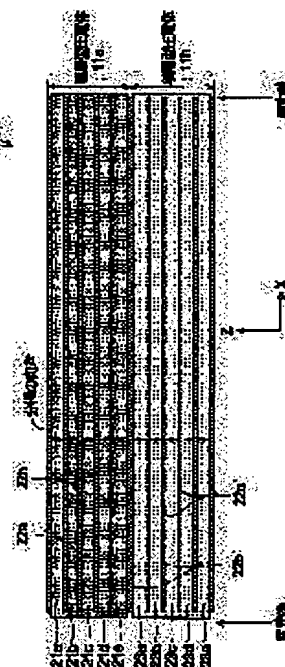
(22)Date of filing : 15.01.2002

(72)Inventor : OSHIMA KIYOSHI
KATO TOMOYOSHI
SHIBATA KIYOTO

(54) PIEZOELECTRIC ACTUATOR AND MANUFACTURING METHOD THEREFOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a piezoelectric actuator that can be driven with low voltage, and a method for manufacturing it.

SOLUTION: A bimorph element 10 has a structure in which a laminated piezoelectric 11a formed by alternately piling up piezoelectric plates 21a-21e and electrodes 22a and 22b, and a laminated piezoelectric 11b formed by alternately piling up piezoelectric plates 23a-23e and electrodes 22a' and 22b' are bonded together. Thickness of the piezoelectric plates 21a-21e and 23a-23e is 10-50 μm , and total thickness of the bonded two laminated piezoelectrics 11a and 11b is 0.1-2 mm. Thereby large flexing displacement is caused in the bimorph element 10 with low voltage.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 17.09.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

BEST AVAILABLE COPY

THIS PAGE BLANK (USPTO)

52#1

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-209302

(P 2 0 0 3 - 2 0 9 3 0 2 A)

(43) 公開日 平成15年7月25日 (2003.7.25)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マコ-ト (参考)
H01L 41/09		H01L 41/08	M
41/187		41/22	Z
41/22		41/18	101 D

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全13頁)

(21) 出願番号 特願2002-5913 (P 2002-5913)

(22) 出願日 平成14年1月15日 (2002.1.15)

(71) 出願人 593103892
株式会社メガセラ
埼玉県日高市大字原宿7番地5
(71) 出願人 000000240
太平洋セメント株式会社
東京都千代田区西神田三丁目8番1号
(72) 発明者 大嶋 清
埼玉県日高市大字原宿7番地5 株式会社
メガセラ内
(74) 代理人 100099944
弁理士 高山 宏志

最終頁に続く

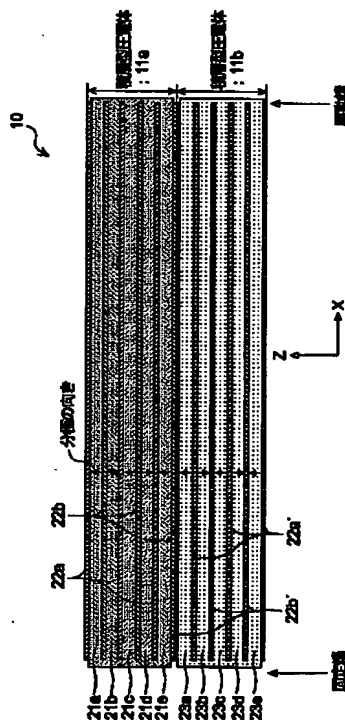
BEST AVAILABLE COPY

(54) 【発明の名称】 圧電アクチュエータとその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 低電圧で駆動が可能な圧電アクチュエータとその製造方法を提供することを目的とする。

【解決手段】 パイモルフ素子10は、圧電板21a~21eと電極22a・22bとが交互に積み重ねられた積層型圧電体11aと、圧電板23a~23eと電極22a'・22b'とが交互に積み重ねられた積層型圧電体11bとが貼り合わされた構造を有する。圧電板21a~21e・23a~23eの厚みを10μm以上50μm以下とし、かつ、貼り合わされた2個の積層型圧電体11a・11bの総厚みを0.1mm以上2mm以下とした。これによりパイモルフ素子10に低電圧で大きな屈曲変位を発生させることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 薄板状の圧電体と電極とが交互に積み重ねられた積層型圧電体と、前記積層型圧電体の表面に貼り付けられた補強板とを具備する圧電アクチュエータであって、前記薄板状の圧電体の厚みが $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $50\text{ }\mu\text{m}$ 以下であり、かつ、前記積層型圧電体の総厚みが 0.05 mm 以上 1 mm 以下であることを特徴とする圧電アクチュエータ。

【請求項 2】 前記補強板の表面に貼り付けられた別の積層型圧電体をさらに具備し、前記積層型圧電体と前記別の積層型圧電体に厚み-横変位を生じさせた際の変位の向きが互いに逆向きとなっていることを特徴とする請求項 1 に記載の圧電アクチュエータ。

【請求項 3】 薄板状の圧電体と電極とが交互に積み重ねられた 2 個の積層型圧電体とその表面で互いに貼り合わされてなる圧電アクチュエータであって、前記薄板状の圧電体の厚みが $10\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $50\text{ }\mu\text{m}$ 以下であり、かつ、貼り合わされた前記 2 個の積層型圧電体の総厚みが 0.1 mm 以上 2 mm 以下であることを特徴とする圧電アクチュエータ。

【請求項 4】 前記 2 個の積層型圧電体は、前記 2 個の積層型圧電体の貼り合わせ面について互いに対称な構造を有することを特徴とする請求項 3 に記載の圧電アクチュエータ。

【請求項 5】 前記薄板状の圧電体は圧電セラミックスであり、前記圧電セラミックスの平均粒径が $3\text{ }\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のいずれか 1 項に記載の圧電アクチュエータ。

【請求項 6】 前記積層型圧電体は、前記電極を 1 層おきに電気的に接続するスルーホール電極を有することを特徴とする請求項 1 から請求項 5 のいずれか 1 項に記載の圧電アクチュエータ。

【請求項 7】 薄板状の圧電体と電極とが交互に積み重ねられた積層型圧電体を有する圧電アクチュエータの製造方法であって、平均粒径が $0.5\text{ }\mu\text{m}$ 以下のチタン酸ジルコン酸鉛-マグネシウムニオブ酸鉛系酸化物粉末を用いてグリーンシートを成形する第 1 工程と、前記グリーンシートにパラジウム含有量が 30% 以下の銀/パラジウムペーストを用いて所定の電極パターンを印刷する第 2 工程と、前記電極パターンが印刷された所定枚数のシートを積層圧着してシート積層体を得る第 3 工程と、前記シート積層体を 1000°C 以上 1200°C 未満の温度で焼成する第 4 工程と、前記第 4 工程において得られた焼成体を分極処理する第 5 工程と、

を有することを特徴とする圧電アクチュエータの製造方法。

【請求項 8】 前記第 3 工程においては、前記電極パターンが印刷されたシートが奇数枚積層され、前記第 5 工程においては、前記第 4 工程において得られた焼成体の表面に現れている電極に直流電圧を印加可能な端子を接触させることによって分極処理が行われることを特徴とする請求項 7 に記載の圧電アクチュエータの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、低電圧で屈曲変位を生じさせることができる圧電アクチュエータとその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】分極された圧電体の厚み-横変位 (d_{31} モードの変位) を利用して、屈曲変位を生じさせるアクチュエータとして、バイモルフ型の圧電アクチュエータ (以下「バイモルフ素子」という) が知られている。図 15 は積層型圧電体を用いて構成されたバイモルフ素子の概略構造を示す断面図である。バイモルフ素子 90 は、シム材と呼ばれる矩形の金属板 92 (その長手方向を X 方向とし、厚み方向を Z 方向とする) の表裏面にそれぞれ積層型圧電体 91a・91b が貼り付けられた構造を有している。バイモルフ素子 90 は X 方向の一端が図示しない固定治具等に固定され、X 方向の他端が駆動端となる。

【0003】積層型圧電体 91a は、薄板状の圧電体 93a と薄膜状の電極 94a が Z 方向に交互に積層され、電極 94a は 1 層おきに電気的に接続されている。積層型圧電体 91a は、表面に現れている 2 層の電極と中央部の 1 層の電極を高電位とし、残りの 2 層をアース電極として圧電体 93a の分極処理が行われている。

【0004】積層型圧電体 91b は、積層型圧電体 91a と同様に、薄板状の圧電体 93b と薄膜状の電極 94b が交互に積層され、電極 94b が 1 層おきに電気的に接続された構成を有するが、表面に現れている 2 層の電極と中央部の 1 層の電極をアース電極とし、残りの 2 層を高電位として圧電体 93b の分極処理が行われている。なお、図 15 には圧電体 93a・93b の分極の向きは示していない。

【0005】このような分極構造の異なる積層型圧電体 91a・91b を金属板 92 に接着剤を用いて貼り合わされ、電極 94a・94b が 1 層おきに接続された圧電アクチュエータ 90 に所定の電圧を印加すると、例えば、積層型圧電体 91a を構成する圧電体 93a に分極方向と同じ順方向の電圧が印加された際には、積層型圧電体 91b を構成する圧電体 93b には分極方向と逆方向の電圧が印加されることとなる。したがって、積層型圧電体 91a が X 方向に伸びるときには積層型圧電体 9

1bはX方向に縮み、その結果としてバイモルフ素子90の駆動端がZ方向下側へ移動するような屈曲変位が発生する。同様に、積層型圧電体91aがX方向に縮むときには積層型圧電体91bはX方向に伸び、その結果としてバイモルフ素子90はその駆動端がZ方向上側へ移動するように全体的に屈曲する。

【0006】圧電体93a・93bとしては、圧電セラミックスが好適に用いられ、具体的にはチタン酸ジルコン酸鉛系セラミックスが用いられている。また積層型圧電体91a・91bは、好ましくはセラミックスグリーンシートを用いた一体焼成法（同時焼成法）により製造される。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来のバイモルフ素子90は、圧電体93a・93bの1層の厚みが70 μ m以上120 μ m以下と厚いために、低電圧での駆動によって所望の変位量を得ることが困難である。また積層型圧電体91a・91bの焼成に1200℃以上1300℃以下という高い温度が必要であるために、電極94a・94bとしてパラジウム(Pd)を30%超含む銀(Ag)/パラジウム(Pd)電極を用いる必要があり、これにより製造コストが嵩む問題がある。さらに鉛を含むセラミックス材料は、高い温度で焼成した際に鉛成分が蒸発して組成ずれが生じ、このために目標とする圧電特性を得ることができなくなるおそれがある。さらにまた蒸発した鉛成分が焼成炉を汚染して、焼成炉の寿命を短くするという問題を引き起こす。

【0008】本発明はこのような事情に鑑みてなされたものであり、低電圧駆動により所望する変位を得ることができる圧電アクチュエータを提供することを目的とする。また本発明は、低温での焼成による製造が可能な積層型圧電体を用いた圧電アクチュエータを提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、薄板状の圧電体と電極とが交互に積み重ねられた積層型圧電体と、前記積層型圧電体の表面に貼り付けられた補強板とを具備する圧電アクチュエータであって、前記薄板状の圧電体の厚みが10 μ m以上50 μ m以下であり、かつ、前記積層型圧電体の総厚みが0.05mm以上1mm以下であることを特徴とする圧電アクチュエータ、が提供される。

【0010】この圧電アクチュエータは、いわゆるユニモルフ素子であり、積層型圧電体に厚み-横変位を生じさせることによって屈曲変位を得ることができる。このユニモルフ素子の補強板に別の積層型圧電体を貼り付けて、バイモルフ素子とすることができる。このようなバイモルフ素子においては、2個の積層型圧電体に厚み-横変位を生じさせた際の変位の向きは、互いに逆向きとなるようにする。

【0011】また本発明によれば、薄板状の圧電体と電極とが交互に積み重ねられた2個の積層型圧電体とその表面で互いに貼り合わされてなる圧電アクチュエータであって、前記薄板状の圧電体の厚みが10 μ m以上50 μ m以下であり、かつ、貼り合わされた前記2個の積層型圧電体の総厚みが0.1mm以上2mm以下であることを特徴とする圧電アクチュエータ、が提供される。

【0012】このアクチュエータは補強板を用いていないバイモルフ素子であり、2個の積層型圧電体は、厚み-横変位を生じさせた際の変位の向きが互いに逆向きとなるように駆動される。このような圧電アクチュエータにおいて、薄板状の圧電体としては平均粒径が3 μ m以下の圧電セラミックスが好適に用いられ、これにより薄板状の圧電体の厚みを10 μ m以上50 μ m以下としつつも、良好な特性を示す積層型圧電体を得ることができる。積層型圧電体の電極の取り出しには、積層型圧電体の総厚みが薄いこと等を考慮して、スルーホール電極が好適に用いられる。

【0013】さらに本発明によれば、このような圧電アクチュエータにおける製造方法、つまり、薄板状の圧電体と電極とが交互に積み重ねられた積層型圧電体を有する圧電アクチュエータの製造方法であって、平均粒径が0.5 μ m以下のチタン酸ジルコン酸鉛-マグネシウムニオブ酸鉛系酸化物粉末を用いてグリーンシートを成形する第1工程と、前記グリーンシートにパラジウム含有量が30%以下の銀/パラジウムペーストを用いて所定の電極パターンを印刷する第2工程と、前記電極パターンが印刷された所定枚数のシートを積層圧着してシート積層体を得る第3工程と、前記シート積層体を1000℃以上1200℃未満の温度で焼成する第4工程と、前記第4工程において得られた焼成体を分極処理する第5工程と、を有することを特徴とする圧電アクチュエータの製造方法、が提供される。

【0014】このような製造方法では、平均粒径の小さい粉末を用いて厚みの薄いグリーンシートを成形することができ、また従来の焼成温度よりも低い温度での焼成が可能となる。これによりパラジウム(Pd)含有量の少ない電極ペーストを用いることが可能となるため、製造コスト（製品コスト）を下げる事が可能となる。第3工程においては、電極パターンが印刷されたシートを奇数枚積層し、第5工程においては、第4工程において得られた焼成体の表面に現れている電極に直流電圧を印加可能な端子を接触させることによって分極処理を行うと、分極処理を容易に行うことができ、生産性が高められる。

【0015】

【発明の実施の形態】以下、本発明の圧電アクチュエータの実施の形態について図面を参照しながら説明する。図1は本発明の圧電アクチュエータの一実施形態であるバイモルフ型の圧電アクチュエータ10（以下「バイモ

ルフ素子10」という)を示す断面図であり、図2はバイモルフ素子10に設けられたスルーホール電極の一実施形態を示す断面図であり、図3はバイモルフ素子10を構成する積層型圧電体11aに設けられた電極のパターンの一実施形態を示す平面図であり、図4はバイモルフ素子10を構成する積層型圧電体11bに設けられた電極のパターンの一実施形態を示す平面図である。

【0016】バイモルフ素子10は、薄板状の圧電セラミックス(以下「圧電板」という)と電極とが交互に積み重ねられた2個の積層型圧電体11a・11bが接着剤を用いて直接に貼り合わされた構造を有する。

【0017】最初に積層型圧電体11aの構造について説明する。図1および図3に示されるように、積層型圧電体11aは、概略、下から順に、下面に電極22bが設けられ上面に電極22aが設けられた圧電板21e、上面に電極22bが設けられた圧電板21d、上面に電極22aが設けられた圧電板21c、上面に電極22bが設けられた圧電板21b、上面に電極22aが設けられた圧電板21aが積み重ねられた構造を有する。

【0018】なお、積層型圧電体11aにおいて圧電板21a~21eが互いに連通している理由は、後に説明するように、バイモルフ素子10がグリーンシートを用いた一体焼成法(同時焼成法)によって製造されるためである。また、図3(a)~(d)の各図は、バイモルフ素子10の上面側(積層型圧電体11a側)から下面側(積層型圧電体11b側)を見た状態を示しており、図3(d)では圧電板21eを透かして電極22b等が見えている状態が示されている。

【0019】図2に示されるように、積層型圧電体11aにおいては、電極22a・25aは、圧電板21a~21eに設けられた孔部31a(図3参照)を利用したスルーホール電極28aによって電氣的に接続されている。また電極22b・25bは、圧電板21a~21eに設けられた孔部31b(図3参照)を利用したスルーホール電極28bによって電氣的に接続されている。

【0020】電極22a・22bは、圧電板21a~21eに電界を印加して積層型圧電体11aに変位を生じさせる電極(駆動用電極)である。また、電極25aはスルーホール電極28aを形成するために製造過程で設けられる電極であり、電極25aのY方向の隣に設けられている電極22bと絶縁されている(図3(b)・

(d)参照)。同様に電極25bは、スルーホール電極28bを形成するために製造過程で設けられる電極であり、電極25bのY方向の隣に設けられている電極22aと絶縁されている(図3(a)・(c)参照)。

【0021】積層型圧電体11aにおいては、電極22a(スルーホール電極28a)を高電位とし、かつ、電極22b(スルーホール電極28b)をアース電極(0V)として、圧電板21a~21eに分極処理が施されている。このために、図1に示されるように、圧電板2

1a・21c・21eにはZ方向上向きの分極が生じ、圧電板21b・21dにおいてはZ方向下向きの分極が生じた状態となっている。

【0022】次に積層型圧電体11bの構造について説明する。図1および図4に示されるように、積層型圧電体11bは、概略、下から順に、下面に電極22a'が設けられ上面に電極22b'が設けられた圧電板23e、上面に電極22a'が設けられた圧電板23d、上面に電極22b'が設けられた圧電板23c、上面に電極22a'が設けられた圧電板23b、上面に電極22b'が設けられた圧電板23aが積み重ねられた構造を有する。

【0023】図2に示されるように、積層型圧電体11bにおいては、電極22a'・25a'は、圧電板23a~23eに設けられた孔部31a'(図4参照)を利用したスルーホール電極28a'によって電氣的に接続されている。また電極22b'・25b'は、圧電板23a~23eに設けられた孔部31b'(図4参照)を利用したスルーホール電極28b'によって電氣的に接続されている。

【0024】電極22a'・22b'は、圧電板23a~23eに電界を印加して積層型圧電体11bに変位を生じさせる駆動用電極である。また、電極25a'はスルーホール電極28a'を形成するために製造過程で設けられる電極であり、電極25a'のY方向の隣に設けられている電極22b'と絶縁されている(図4(a)・(c)参照)。同様に電極25b'は、スルーホール電極28b'を形成するために製造過程で設けられる電極であり、電極25b'のY方向の隣に設けられている電極22a'と絶縁されている(図4(b)・(d)参照)。このように、積層型圧電体11a・11b間の接着面を対称面として、積層型圧電体11bは積層型圧電体11aと対称な構造を有している。

【0025】積層型圧電体11bにおいては、電極22a'(スルーホール電極28a')をアース電極(0V)とし、かつ、電極22b'(スルーホール電極28b')を高電位として、圧電板23a~23eに分極処理が施されている。このために、図1に示されるように、圧電板23a・23c・23eにはZ方向上向きの分極が生じ、圧電板23b・23dにおいてはZ方向下向きの分極が生じた状態となっている。

【0026】バイモルフ素子10は、積層型圧電体11a・11bが、スルーホール電極28aとスルーホール電極28a'が電氣的に接続され、かつ、スルーホール電極28bとスルーホール電極28b'が電氣的に接続されるように、接着剤27(図2参照)によって接着された構造を有している。スルーホール電極28a・28a'間の電氣的接続は、積層型圧電体11aの裏面に設けられた電極25aと積層型圧電体11bの表面に設けられた電極25a'とを接触させることによって行われ

る。またスルーホール電極28b・28b'間の電氣的接続は、積層型圧電体11aの裏面に設けられた電極22bと積層型圧電体11bの表面に設けられた電極22b'とを接触させることによって行われる。

【0027】積層型圧電体11aと積層型圧電体11bの接着は、積層型圧電体11a・11bについて分極処理が個別に終了した後に、積層型圧電体11aの裏面（圧電板21e側）と、積層型圧電体11bの表面（圧電板23a側）とを接着することによって行われている。積層型圧電体11a・11bを接着した後に分極処理を行うと、スルーホール電極28a・28a'間の電氣的接続およびスルーホール電極28b・28b'間の電氣的接続によって、図1に示すような圧電板21a～21e・23a～23e（以下「圧電板21a等」という）の分極状態を得ることができなくなる。

【0028】バイモルフ素子10の駆動は、例えば、スルーホール電極28aと導通して表面に露出している電極22aを高電位側のターミナルとし、かつ、スルーホール電極28bに導通して表面に露出している電極25bをアース電極用のターミナルとして、これらの電極22a・25b間に所定の直流電圧を印加することによって行うことができる。この場合には、積層型圧電体11aの圧電板21a～21eにはそれぞれ分極の向きと同じ向きに電界が掛かるために積層型圧電体11aはX方向に収縮し、一方、積層型圧電体11bの圧電板23a～23eにはそれぞれ分極の向きとは逆向きの電界が掛かるために積層型圧電体11bはX方向に伸びる。これによりバイモルフ素子10は、その駆動端がZ方向上側へ移動するように屈曲する。

【0029】電極22aと電極25bに印加する電位を逆にすると、駆動端がZ方向下側へ移動するようにバイモルフ素子10を屈曲させることができ、電極22a・電極25b間に交流電圧を印加すると、駆動端にZ方向の振動を生じさせることができる。さらに、バイモルフ素子10のX方向両端を固定した状態で電極22a・電極25b間に交流電圧を印加することによって、バイモルフ素子10のX方向中心を腹とし、X方向両端を節とする振動変位を生じさせることも可能である。なお、バイモルフ素子10を駆動するには、バイモルフ素子10の表面に露出している電極22a・22a'のいずれか一方と電極25b・25b'のいずれか一方との間に電圧を印加すればよい。

【0030】このような構造を有するバイモルフ素子10において、圧電板21a等の厚みは10μm以上50μm以下、好ましくは15μm以上40μm以下、さらに好ましくは20μm以上30μm以下とする。これにより、バイモルフ素子10は、例えば、10V以下の低電圧でも十分に大きな変位を示す。圧電板21a等の厚みが薄い場合には、絶縁破壊が起こる可能性が高くなり、圧電板21a等を挟む電極どうしが導通する等の

不良が発生し易くなる。一方、圧電板21a等の厚みが厚い場合には所望する変位量を得るために高い駆動電圧が必要となる。

【0031】圧電板21a等の厚みをこのように薄くした状態で高い信頼性を維持するために、圧電板21a等には平均粒径が3μm以下の圧電セラミックスが用いられる。圧電板21a～21eの平均粒径は、2.5μm以下であることが好ましく、2μm以下であることがさらに好ましい。平均粒径の下限は原料粉末の粒径によって決定されるが、おおよそ0.5μmである。バイモルフ素子10の製造においては、良好な圧電特性を示すジルコン酸チタン酸鉛-マグネシウムニオブ酸鉛（PZT-PMN）系材料が好適に用いられる。

【0032】後述するように、圧電板21a等の平均粒径を3μm以下とするために、バイモルフ素子10の製造においては、平均粒径が0.5μm以下のPZT-PMN系材料粉末が用いられる。このような微粉末を用いることによって、10μm以上50μm以下の厚みを有する圧電板21a等を得るためのグリーンシートを製造することが可能となる。PZT-PMN系材料の具体的な組成例としては、例えば、特公平4-78582号公報に開示されている一連の組成を挙げることができる。

【0033】平均粒径が0.5μm以下のPZT-PMN系材料の粉末は、焼結性が高いために1000℃以上1200℃未満での焼成が可能であり、この温度は、従来のPZT材料の一般的な焼成温度である1200℃以上1300℃以下よりも低い。これによりバイモルフ素子10では、電極22a・22b・25a・25bとして、従来一般的に用いられていたパラジウム（Pd）含有量が30%超の銀（Ag）/パラジウム（Pd）電極材料に代えて、パラジウム（Pd）含有量が19.5%以上30%以下、好ましくは19.5%以上25%以下、より好ましくは19.5%以上20.5%未満（約20%）の銀（Ag）/パラジウム（Pd）電極材料が用いられる。

【0034】こうしてパラジウム（Pd）の使用量を減らすことにより製造コストを下げる事が可能となる。また、高い温度で焼成した際の鉛成分の蒸発を抑制して組成ずれを防止することができ、目標とする圧電特性を得ることが容易となる。さらに蒸発した鉛成分による焼成炉の汚染を抑制することができ、焼成炉の寿命を長く保持することも可能となる。

【0035】接着された積層型圧電体11a・11bの総厚み、つまりバイモルフ素子10の総厚みは0.1mm以上2mm以下、好ましくは0.2mm以上1mm以下、さらに好ましくは0.2mm以上0.7mm以下である。バイモルフ素子10の総厚みが薄い場合には、変位量は大きくなるが発生力が小さく、また機械的強度が小さくなる。一方、バイモルフ素子10の総厚みが厚くなると、発生力と機械的強度は大きくなるが、変位量が

小さくなる。圧電板21a等の厚みとバイモルフ素子10の総厚みは、バイモルフ素子10の用途等を考慮して、適宜適切な条件に定められる。

【0036】バイモルフ素子10は、その総厚みが2mm以下と薄いために、積層型圧電体11a・11bからの電極の取り出しをこれらの側面で行うことが困難である。そこで、バイモルフ素子10においては、スルーホール電極28a・28b・28a'・28b'を用いることによってこの問題を解決している。バイモルフ素子10のX方向端の一方を図示しない固定治具に固定する際に、この固定治具に表面に露出した電極22a・25bの電氣的接続が可能な電極端子を設けることにより、バイモルフ素子10自体にリード線を設ける必要がない構造とすることができる。

【0037】次に、バイモルフ素子10の製造方法について説明するが、積層型圧電体11a・11bは同様の工程によって製造されるために、ここでは積層型圧電体11aの製造工程を中心にして説明することとする。図5はバイモルフ素子10の製造方法の一実施形態を示すフローチャートである。最初に原料粉末を調製する(ステップ1)。このステップ1では、PZT-PMN系材料の粗粉末を粉碎処理して平均粒径を0.5μm以下とする。このような原料粉末において、1μm以上の粉末が全体に占める割合は10%(体積%)以下であることが好ましく、5%(体積%)以下であるとより好ましい。これにより均一な組織を有する圧電板21a等を得ることができる。

【0038】粗粉末の粉碎方法としては、特開平9-2872号公報に開示されている強度攪拌式ミルを用いる方法が好ましく、これにより所望する粒径の原料粉末を容易に得ることができる。図6は強度攪拌式ミルによる粉碎処理が終了した原料粉末の粒度分布をHORIBA製LA-920を用いて測定した結果を示す説明図であり、平均粒径が0.439μm(メジアン径)の原料粉末が得られていることがわかる。

【0039】得られた原料粉末に溶剤、バインダ等を添加して均一に混合し、シート成形用のスラリーを製造する(ステップ2)。このスラリーの製造にはボールミル等の粉碎混合装置が好適に用いられる。続いてドクターブレード法やカレンダーロール法等により、製造したスラリーを用いてグリーンシートを成形する(ステップ3)。ステップ3で製造するグリーンシートの厚みは焼成収縮を考慮して適切な値に設定される。ステップ3においては、ステップ1において調製した原料粉末を用いることにより、ステップ3においては、厚みが約20μm以上60μm以下の薄くかつ厚みの均一なグリーンシートを成形することができる。

【0040】続いて、成形された帯状のグリーンシートを一定の大きさ(例えば、1辺の長さが250mmの正方形)に切断し(ステップ4)、得られたシートの周縁

をフレームに貼り付ける(ステップ5)。ステップ4において切断するシートの大きさは、作業者による取り扱いが容易であり、かつ、例えば、図3(a)に示す電極パターンを縦横に並べて複数箇所に印刷することができるような大きさとするのが好ましい。これにより生産性が高められる。このステップ4は、グリーンシートの厚みが薄い場合に、グリーンシートのハンドリングを行い易くするために行われるものであり、必ずしも必要な工程ではない。

【0041】次いで、フレームに貼り付けられたシートの所定位置にスルーホール電極28a・28bを形成するための孔部31a・31bを形成する(ステップ6)。この孔部31a・31bの形成は、金型によるパンチングやレーザ加工によって行うことができる。孔部31a・31bを形成する位置は、次のステップ7における電極ペーストの印刷位置に合わせて予め定められる。

【0042】孔部31a・31bが形成されたシートの所定位置に、パラジウム(Pd)含有量が約20%の銀(Ag)/パラジウム(Pd)ペーストを所定のパターンで印刷する(ステップ7)。この電極ペーストの印刷はスクリーン印刷法を用いて好適に行われ、先に図3(a)に示した電極パターンが印刷されたシートと、図3(b)に示した電極パターンが印刷されたシートの2種類のシートが製造される。

【0043】ここで、シートの厚みが約60μm以下と薄い場合には、シートに形成された孔部31a・31bを塗りつぶすように電極ペーストの印刷を行うことにより、この孔部31a・31bの内周壁面にも電極ペーストが塗られる。これにより後に説明するステップ10においてシートどうしの熱圧着を行い、さらにステップ11において焼成を行った際に、この孔部31a・31bの内周壁面に塗られた電極ペーストがどうしが接触して、スルーホール電極28a・28bが形成される。

【0044】なお、グリーンシートを用いた一体焼成法により積層型圧電素子を製造する場合において、その積層型圧電素子にスルーホール電極を設ける方法としては、グリーンシートに形成した孔部を樹脂埋めして、その後に電極ペーストの印刷を行い、焼成後に樹脂が焼失することによって形成されるホールに電極材料を塗布または充填する方法が知られている。しかし、バイモルフ素子10の製造工程においては、孔部31a・31bを樹脂埋めする等の工程を必要とすることなく、スルーホール電極28a・28bを形成することができるために、製造時間を短縮することができる。

【0045】続いて、電極パターンが印刷された一定面積(例えば、1辺が200mmの正方形の領域)を、パンチングによりシートから打ち抜く(ステップ8)。フレームに貼り付けられたシートの残りの部分はフレームから剥離された後に粉末の状態に戻される等して再利用

され、フレームは洗浄処理されて再びステップ4に用いられる。ステップ8において、図3(a)に示した電極パターンが印刷されたシートから得られたシート（以下「シートA」とする）と、図3(b)に示した電極パターンが印刷されたシートから得られたシート（以下「シートB」とする）を、位置合わせを行いながら交互に積み重ねる（ステップ9）。

【0046】積層型圧電体11aを製造する場合のステップ9の処理は、最終的に圧電板21a・21c・21eとなる3枚のシートAと、最終的に圧電板21b・21dとなる2枚のシートBを交互に積み重ねる。同様に、積層型圧電体11bを製造する場合には、最終的に圧電板23a・23c・23eとなる3枚のシートBと、最終的に圧電板23b・23dとなる2枚のシートAを交互に積み重ねればよい。

【0047】なお、積層型圧電体11aを製造する場合のステップ9の処理においては、最終的に圧電板21c・21eとなる2枚のシートAと、最終的に圧電板21b・21dとなる2枚のシートBを交互に積み重ね、さらに圧電板21bとなるシートBの上に、圧電板21aとなるグリーンシートであって電極ペーストが印刷されていないものを積み重ねてもよい。同様に、積層型圧電体11bを製造する場合には、最終的に圧電板23c・23eとなる2枚のシートBと、最終的に圧電板23b・23dとなる2枚のシートAを交互に積み重ね、さらに圧電板23bとなるシートAの上に、圧電板23aとなるグリーンシートであって電極ペーストが印刷されていないものを積み重ねてもよい。

【0048】ステップ9におけるシートAとシートBの積み重ね数の合計を奇数とすると、後のステップ14における分極処理を容易に行うことができる。また所定枚数のシートAとシートBを積み重ねた後に、シートAと同じ形状に加工された樹脂フィルムを積み重ね、さらにこの樹脂フィルムの上に所定枚数のシートAとシートBを積み重ねる、という一連の作業を所定回数繰り返すことにより、次のステップ10における熱ブレスの回数を減らして製造時間を短縮することができる。樹脂フィルムとしては、熱ブレスを行った際にシートAおよびシートBと溶着しない性質を有するものが好適に用いられる。

【0049】こうして積み重ねられたシートAとシートBに熱ブレス処理を施す（ステップ10）。これによりシートAとシートBが熱圧着されて一体化されたグリーンボードが得られる。次いでこのグリーンボードを焼成する（ステップ11）。ステップ11は、グリーンボードの面積が広い場合には1枚のグリーンボードを複数に分割した後に行うことが好ましく、1枚のグリーンボードの面積が狭い場合にはそのままの状態で行ってもよい。

【0050】グリーンボードを構成する原料粉末は粒径

が小さくて焼結性が高いために、グリーンボードの焼成は、1000℃以上1200℃未満の範囲、好ましくは1100℃以上1150℃以下の範囲で行うことができる。これにより、ステップ7において、電極ペーストとしてパラジウム(Pd)含有量が少ないものを用いることが可能となっている。図7はステップ11で得られた焼成体の微構造を示すSEM写真である。平均粒径は約1.2μmであり、かつ、緻密に焼結している圧電板21a～21eが得られている状態を確認することができる。当然に、図7に示される微構造は、積層型圧電体11aまたは積層型圧電体11bを構成する圧電板21a等の微構造である。

【0051】ステップ11により得られる焼成体であって、積層型圧電体11aとして製造されたものには、その一方の表面（圧電板21a側）に電極22a・25bが形成されているが、他方の表面（圧電板21e側）には電極が形成されていないものとなる。そこで、銀ペーストを用いて、焼成体の圧電板21e側の表面に図3(d)に示す電極パターンを印刷し、焼成温度よりも低い温度で焼き付けて、電極25a・22bを形成する（ステップ12）。ステップ12においては、圧電板21a側の表面に形成されている電極22a・25bにも銀ペーストを上塗りして、焼き付けることが好ましい。

【0052】同様に、ステップ11により得られる焼成体であって、積層型圧電体11bとして製造されたものには、その一方の表面（圧電板23a側）に電極22b・25aが形成されているが、他方の表面（圧電板23e側）には電極が形成されていないものとなる。そこで、銀ペーストを用いて、焼成体の圧電板23e側の表面に図4(d)に示す電極パターンを印刷し、焼成温度よりも低い温度で焼き付けて、電極22a・25bを形成する。このとき圧電板23a側の表面に形成されている電極22b・25aにも銀ペーストを焼き付けることが好ましい。

【0053】なお、先のステップ9においてシートAおよびシートBを積層する際に、電極ペーストが印刷されていないグリーンシートを最上段に積み重ねていた場合には、ステップ11により得られる焼成体は、その両面に電極が形成されていないものとなる。この場合には、焼成体の両面にそれぞれ所定の電極パターンを銀ペーストを用いて印刷し、その後焼き付け処理を行うことによって、焼成体の表面に所定の電極を形成する。例えば、積層型圧電体11aの場合には、圧電体21a側に図3(a)に示す電極パターンを印刷し、圧電体21e側に図3(d)に示す電極パターンを印刷し、焼き付け処理を行う。

【0054】ステップ12の終了後には、銀ペーストが焼き付けられた焼成体を個々の積層型圧電体に切断して（ステップ13）、複数の積層型圧電体11a（および複数の積層型圧電体11b）を得て、その後これらの

分極処理を行う(ステップ14)。積層型圧電体11aの場合、シートAとシートBの積み重ね数が奇数であれば、積層型圧電体11aの表面に設けられた面積の広い駆動用の電極22a・22b(ステップ12において銀ペーストを焼き付けて形成された電極22a・22b)の間に所定の電圧を印加することにより、容易に分極処理を行うことができる。同様に、積層型圧電体11bの場合においてシートAとシートBの積み重ね数が奇数であれば、積層型圧電体11bの表面に設けられた面積の広い駆動用の電極22a・22bの間に電圧を印加して分極処理を行うことができる。なお、ステップ13とステップ14は逆の順序で行うことができる。但し、分極処理時に焼成体にクラック等の損傷が入らないことが前提条件とされる。

【0055】ステップ14の終了後に得られた積層型圧電体11aと積層型圧電体11bを接着剤で貼り合わせる(ステップ15)ことにより、バイモルフ素子10が得られる。さらに必要に応じて、表面に露出している電極22a(または22a')・25b(または25b')にリード線をハンダ付け等して取り付ける。

【0056】ステップ15においては、積層型圧電体11aと積層型圧電体11bが接着された後に、例えば、電極22a・25b間に電圧を印加したときに、積層型圧電体11aを構成する圧電板21a~21eに分極の向きと同じ向きに電界が印加された場合には、積層型圧電体11bを構成する圧電板23a~23eには分極の向きとは逆向きの電界が印加されるようにし、逆に積層型圧電体11aを構成する圧電板21a~21eに分極の向きと逆向きの電界が印加された場合には、積層型圧電体11bを構成する圧電板23a~23eには分極の向きと同じ向きに電界が印加されるようにする必要がある。このため、積層型圧電体11aと積層型圧電体11bの接着面を間違えないように注意する必要がある。

【0057】ところで、圧電アクチュエータ10の製造に用いる原料粉末の平均粒径が0.5μm超である場合には、次のような問題が生じるために、圧電アクチュエータ10を製造することは困難である。例えば、HORIBA製LA-920を使用して測定された図8に示す粒度分布を有するPZT-PMN系セラミックス原料粉末を用いてスラリーを作製した場合には、厚みが約20μm以上60μm以下の薄くかつ均一な厚みを有するグリーンシートを作製することが困難である。また、グリーンボードが作製できたとしても、これを1000℃以上1200℃未満の温度で焼成した場合には、粉末の焼結性が悪いために焼結が進まず、これにより空孔率が大きくなって所望する圧電特性を得ることができない。このためにグリーンボードを1200℃以上1300℃以下の温度で焼成すると、図9のSEM写真に示すように緻密な微構造を有する圧電セラミックスを得ることができるが、その平均粒径は大きく、機械的強度も小さい。

さらに、電極材料としてパラジウム(Pd)含有量が20%の銀(Ag)/パラジウム(Pd)ペーストが用いられているグリーンボードを1200℃以上1300℃以下の温度で焼成した場合には、銀(Ag)がグリーンボードから流れ出すために駆動可能な積層型圧電体を得ることができない。結果的に、グリーンボードの作製にあたって、パラジウム(Pd)含有量が30%超の銀(Ag)/パラジウム(Pd)ペーストを用いる必要が生ずるために、圧電アクチュエータ10の製造コストが高くなる。

【0058】次に、本発明の圧電アクチュエータの別の実施の形態について説明する。図10の断面図に示すバイモルフ素子10aは、上述したバイモルフ素子10を構成する積層型圧電体11a・11b間に、いわゆるシム材として金属板41が挟まれた構造を有している。積層型圧電体11a・11bの構造は先に説明した通りである。金属板41としては、リン青銅等のバネ性を有する金属が好適に用いられ、その厚みは10μm以上200μm以下の範囲のものが好適に用いられる。

【0059】積層型圧電体11a・11bを直接に金属板41に接着すると、全てのスルーホール電極28a・28a'・28b・28b'が金属板41と電氣的に接続されてしまい、バイモルフ素子10aを駆動することができなくなる。これを防止する方法としては、以下に示す方法が挙げられる。

【0060】第1の方法は、図11の断面図に示すように、例えば、スルーホール電極28b・28b'は金属板41を介して電氣的に接続されるが、スルーホール電極28a・28a'は金属板41と絶縁されるように、金属板41の特定部分に絶縁性樹脂42をコーティングする方法である。この絶縁性樹脂42の厚みが厚くなると、金属板41と積層型圧電体11a・11bとを接着する際に積層型圧電体11a・11bが割れるおそれがある。このために絶縁性樹脂42の厚さは10μm以下とすることが好ましい。

【0061】第2の方法は、図12の断面図に示すように、積層型圧電体11aを製造する際に、圧電板21eとなるシートAについては、孔部31aを形成しない方法である。これによりスルーホール電極28aは金属板41と導通することができなくなる。この場合にはさらに、圧電板21eに設けられる電極22bの電極面積を圧電板21e全体に拡げることができる。ここで、積層型圧電体11aと金属板41との接着には、嫌気性の接着剤が好適に用いられるために、電極22bを圧電板21eの表面全体に設けた場合には、金属材料どうしの接着面積が広くなり、これにより接着面の信頼性を高めることができる。同様に、積層型圧電体11bを製造する際には、圧電板23aとなるシートBについては、孔部31a'を形成せず、圧電板23aに設けられる電極22b'の電極面積を圧電板23a全体に拡げる。これに

よりスルーホール電極 28a の金属板 41 との導通が防止され、積層型圧電体 11b と金属板 41 の接着面の信頼性も高められる。

【0062】バイモルフ素子 10a の駆動は、例えば、金属板 41 とスルーホール電極 28a・28a' に導通して表面に露出している電極 22a との間に電圧を印加することにより行うことができる（図 10 参照）。バイモルフ素子 10a は、金属板 41 を有するために強度が大きくなる。但し、金属板 41 によって積層型圧電体 11a・11b の変位が阻害されるために、一般的に変位量は小さくなる。

【0063】ところで、バイモルフ素子に用いるシム材は金属板 41 に限定されるものではない。例えば、図 13 は、プリント配線基板 80 を積層型圧電体 11a・11b で挟んだ構造を有するバイモルフ素子 10b の構造を示す断面図である。プリント配線基板 80 は、図 13 (b) に示すように、樹脂基板 85 の表裏面に設けられた第 1 電極 81 が第 1 スルーホール 82 の壁面を通じて導通し、表裏面に第 1 電極 81 と絶縁して設けられた第 2 電極 83 が第 2 スルーホール 84 の壁面を通じて導通した構造を有している。

【0064】図 13 (a) に示すように、第 2 電極 83 の平面形状は電極 22b・22b' の形状に一致させることができる。同様に、第 1 電極 81 の平面形状は電極 25a・25a' の形状に一致させることができる。なお、第 1 スルーホール 82 と第 2 スルーホール 84 を設けることなく、樹脂基板 85 の側面を通じて第 1 電極 81 どうしを導通させ、また第 2 電極 83 どうしを導通させることもできる。

【0065】このようなプリント配線基板 80 と積層型圧電体 11a・11b とを、第 1 電極 81 とスルーホール電極 28a・28a'（電極 25a・25a'）間が導通し、かつ、第 2 電極 83 とスルーホール電極 28b・28b'（電極 22b・22b'）間が導通するように接着する。これによりバイモルフ素子 10b の一方の表面、例えば積層型圧電体 11a 側の表面から電極リードを取り出して、バイモルフ素子 10b を駆動することができる。バイモルフ素子 10b は、バイモルフ素子 10a と比較すると、制振性に優れるという特徴を有する。

【0066】次に、圧電アクチュエータのさらに別の実施の形態について説明する。図 14 の断面図に示すユニモルフ素子 10c は、金属板 41 に 1 個の積層型圧電体 11a を貼り付けて構成される圧電アクチュエータである。ユニモルフ素子 10c においても、スルーホール電極 28a・28b がともに金属板 41 に導通することがないように、スルーホール電極 28a（金属板側 41 との接着面にある電極 25a）と金属板 41 との間に絶縁性樹脂 42 が塗布されている。

【0067】ユニモルフ素子 10c の駆動は、例えば、

金属板 41 とスルーホール電極 28a と導通して表面に露出している電極 22a との間に電圧を印加することにより行う。ユニモルフ素子 10c では、圧電板 21a～21e の分極の向きと同じ向きに電界が印加されるように駆動電圧を印加することが好ましい。

【0068】ユニモルフ素子 10c は、バイモルフ素子 10・10a と比較すると、駆動電圧が同じ場合に得られる変位量は小さくなる。しかし、バイモルフ素子 10・10a においては、駆動の際に積層型圧電体 11a・11b のいずれか一方の圧電板 21a～21e に分極の向きとは反対の向きの電界を掛けなければならない。このためにバイモルフ素子 10・10a においては、長時間の駆動や高い電圧の駆動によって分極が消滅して、駆動できなくなるおそれがある。しかし、ユニモルフ素子 10c ではこのような問題が生じない利点がある。

【0069】以上、本発明の実施の形態について説明してきたが、本発明は上記実施の形態に限定されるものではない。例えば、バイモルフ素子 10 等を構成する積層型圧電体 11a・11b については、圧電板が 5 層構造となっているものを示したが、積層型圧電体 11a・11b の総厚み等の条件が満たされる限りにおいて、圧電板の積層数に制限はない。また電極 22 等のパターンについても、図 3 の各図に示されるパターンに限定されない。さらにバイモルフ素子 10a においては、金属板 41 に絶縁性樹脂 42 を設けることでスルーホール電極 28a・28a' 間の導通を防止しているが、例えば絶縁性樹脂 42 を設ける代わりにスルーホール電極 28a・28a' 間の導通を防止するホールを金属板 41 に設けてもよい。本発明に係るバイモルフ素子 10 等の用途としては、例えば、低電圧で駆動可能な圧電リレーや携帯電話のバイブレータ、パネル型スピーカ等を挙げることができるが、勿論、これらの用途に限定されるものではない。

【0070】

【発明の効果】上述の通り、本発明の圧電アクチュエータとその製造方法によれば、平均粒径の小さい粉末を用いることによって厚みの薄いグリーンシートを成形することが可能なために、圧電板の一層の厚みを薄くすることができる。これにより 10V 以下の低電圧でも十分に駆動することが可能となるために、特に電池を電源として利用する携帯型情報端末への種々の応用が可能となる。また、平均粒径の小さい粉末を用いることによって従来の焼成温度よりも低い温度での焼成が可能となるために、パラジウム (Pd) 含有量の少ない電極ペーストを用いることが可能となる。これにより製造コスト（製品コスト）を下げる事が可能となる効果も得られる。電極パターンが印刷されたシートを奇数枚積層することにより、焼成体の表面に表れる駆動用の電極を用いて分極処理を行うことが可能となり、これにより生産性が高められる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 圧電アクチュエータの一実施形態であるバイモルフ素子を示す断面図。

【図 2】 図 1 に示すバイモルフ素子設けられたスルーホール電極の一実施形態を示す断面図。

【図 3】 図 1 に示すバイモルフ素子を構成する一方の積層型圧電体に設けられた電極のパターンの一実施形態を示す平面図。

【図 4】 図 1 に示すバイモルフ素子を構成する他方の積層型圧電体に設けられた電極のパターンの一実施形態を示す平面図。

【図 5】 図 1 に示すバイモルフ素子の製造方法の一実施形態を示す説明図。

【図 6】 原料粉末の粒度分布を示す説明図。

【図 7】 バイモルフ素子を構成する圧電板の微構造を示す SEM 写真。

【図 8】 従来の原料粉末の粒度分布を示す説明図。

【図 9】 従来のバイモルフ素子を構成する圧電板の微構造を示す SEM 写真。

【図 10】 バイモルフ素子の別の形態を示す断面図。

【図 11】 バイモルフ素子の電極構造の一実施形態を示す断面図。

【図 12】 バイモルフ素子の電極構造の別の実施形態を示す断面図。

【図 13】 バイモルフ素子の電極構造のさらに別の実施形態を示す断面図。

【図 14】 圧電アクチュエータの別の実施形態であるユ

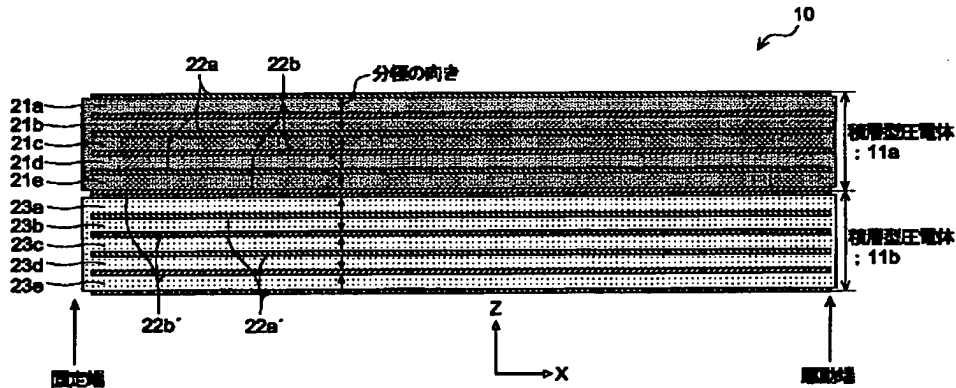
ニモルフ素子を示す断面図。

【図 15】 従来のバイモルフ素子の概略構造を示す断面図。

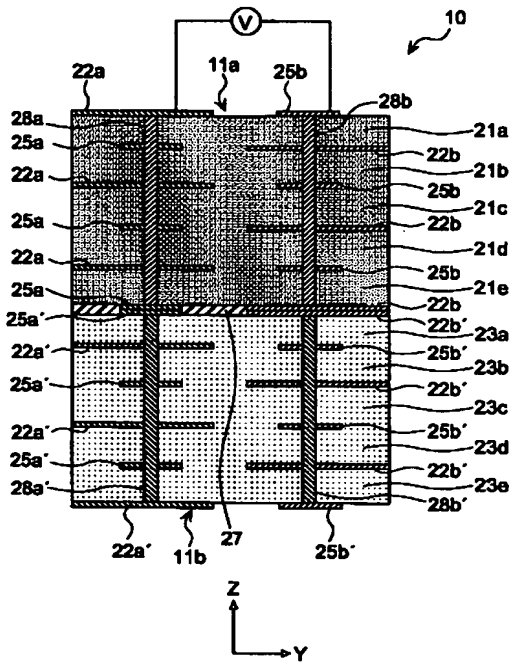
【符号の説明】

10・10a・10b；バイモルフ素子
10c；ユニモルフ素子
11a・11b；積層型圧電体
21a～21e・23a～23e；圧電板
22a・22a'・22b・22b'・25a・25a'・25b・25b'；電極
27；接着剤
28a・28a'・28b・28b'；スルーホール電極
31a・31a'・31b・31b'；孔部
41；金属板
42；絶縁性樹脂
80；プリント配線基板
81；第 1 電極
82；第 1 スルーホール
83；第 2 電極
84；第 2 スルーホール
85；樹脂基板
90；バイモルフ素子
91a・91b；積層型圧電体
92；金属板
93a・93b；圧電体
94a・94b；電極

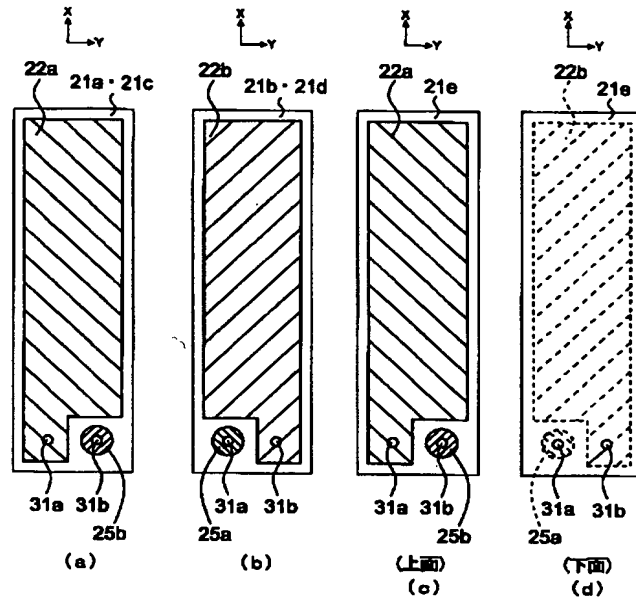
【図 1】



【図2】

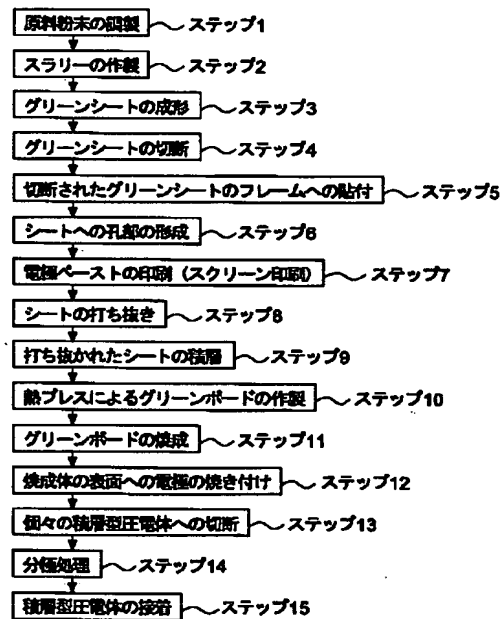
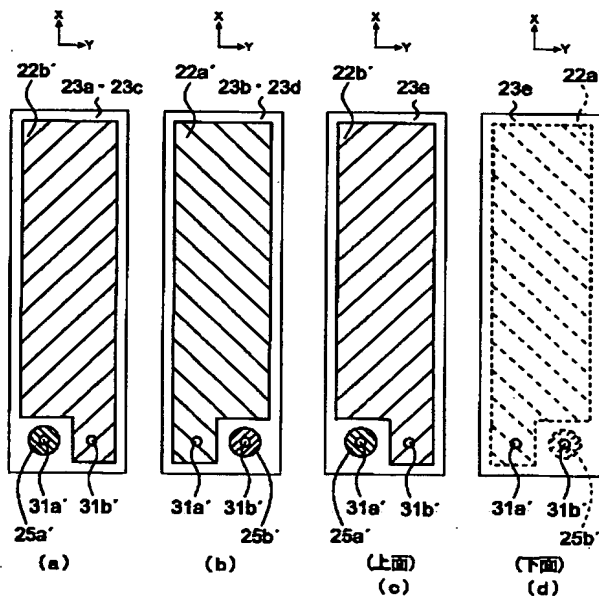


【図3】

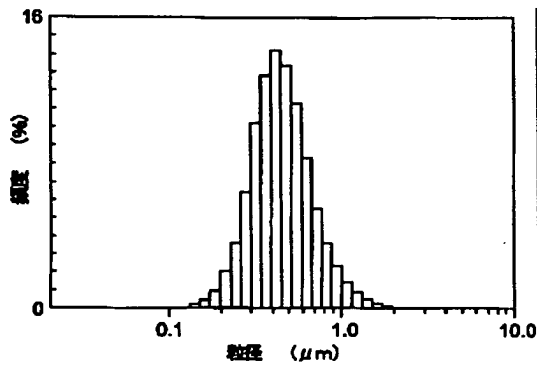


【図5】

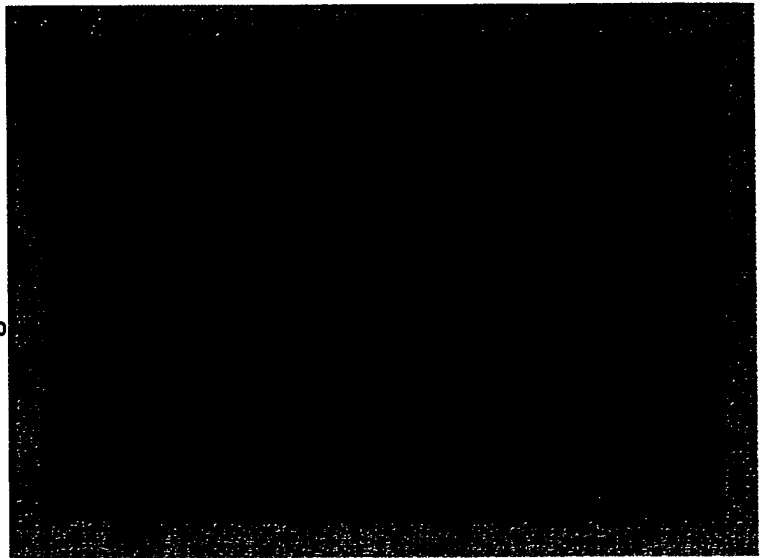
【図4】



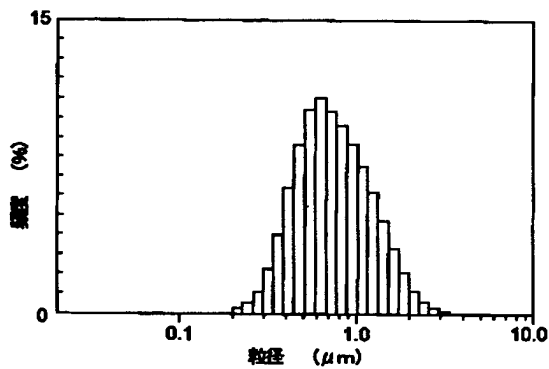
【図 6】



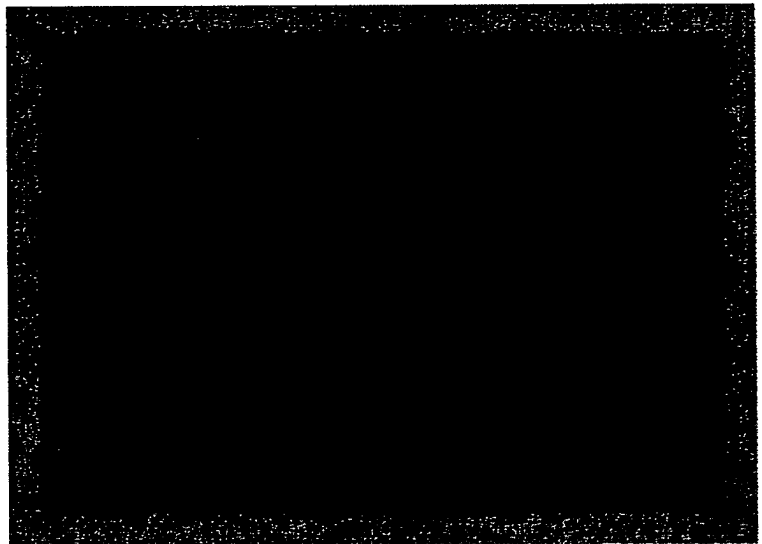
【図 7】



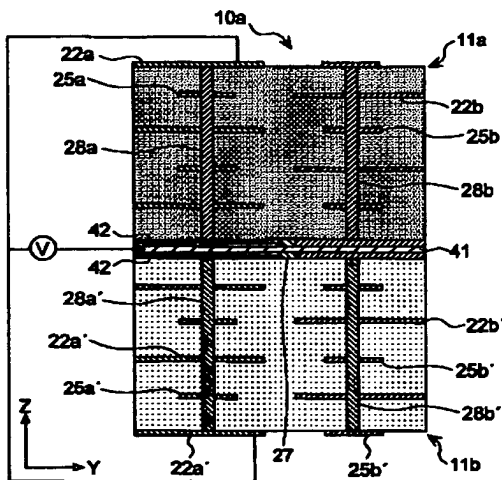
【図 8】



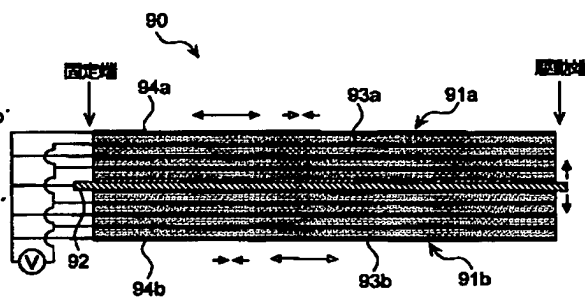
【図 9】



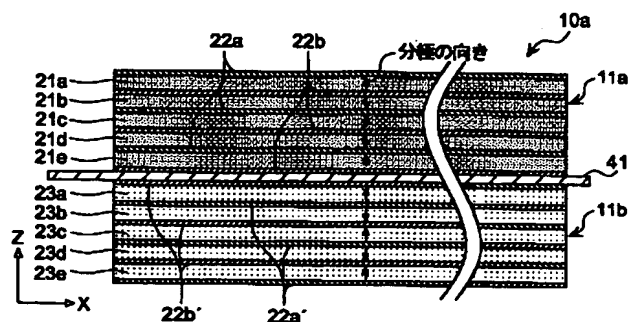
【図 11】



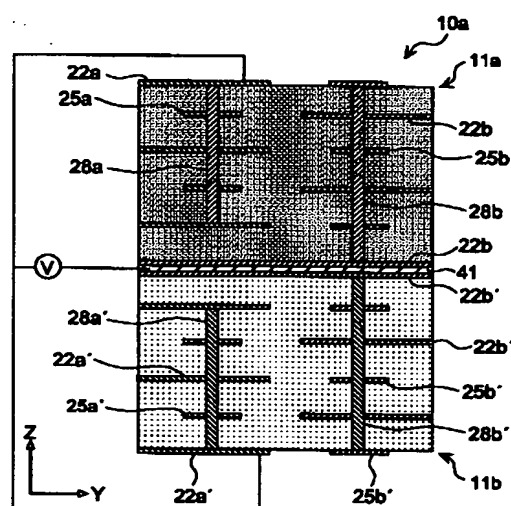
【図 15】



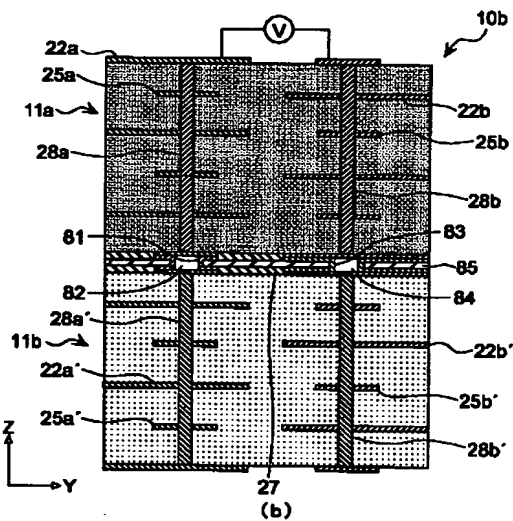
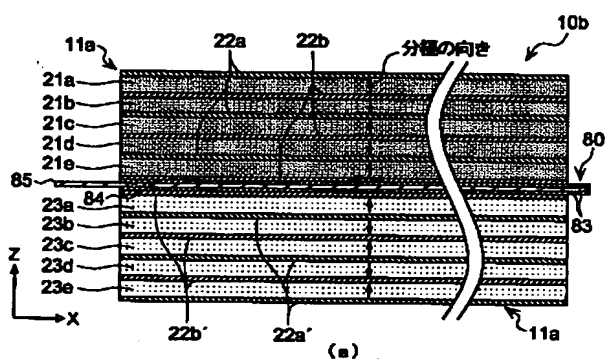
【図10】



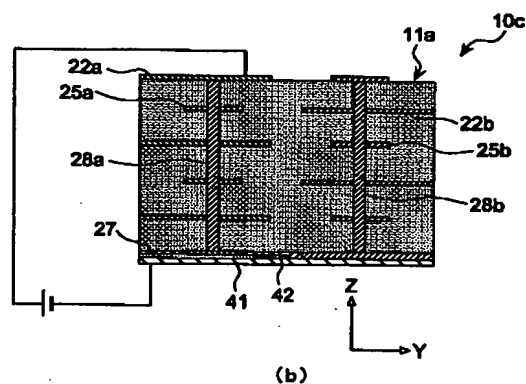
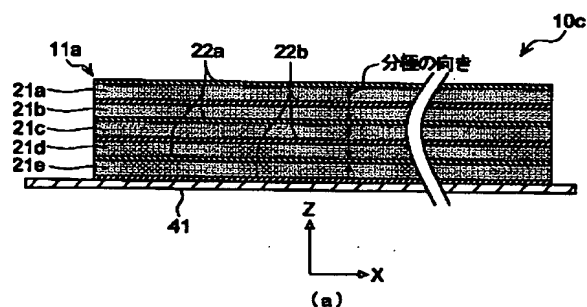
【図12】



【図13】



【図14】



フロントページの続き

(72)発明者 加藤 友好
埼玉県日高市大字原宿7番地5 株式会社
メガセラ内

(72)発明者 柴田 清人
埼玉県日高市大字原宿7番地5 株式会社
メガセラ内

THIS PAGE BLANK (USPTO)

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)